

Aus der Konservierenden Abteilung
Leiter: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Universität Mainz
Direktor: Prof. Dr. F. Jung

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT
VERSCHIEDENER ZAHNÄRZTLICHER ZEMENTE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der
Zahnheilkunde verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes-Gutenberg-Universität zu Mainz

vorgelegt von
Bernd Stern
aus Herne / Westfalen

Mainz 1967

Aus der Konservierenden Abteilung
Leiter: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl-
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Universität Mainz
Direktor: Prof. Dr. F. Jung

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE OBERFLÄCHENBESCHAFFEN-
HEIT VERSCHIEDENER ZAHNÄRZTLICHER ZEMENTE

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahn-
heilkunde verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg Universität zu Mainz

vorgelegt von
Bernd Stern
aus Herne/Westfalen

Mainz 1967

Referent: Professor Dr.Dr.W.Ketterl

Dekan: Professor Dr.Dr.Thews



Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet.

Disposition

I. Literatur	2
II. Eigene Versuche	11
1.) Verwendete Zemente	11
a) Phosphatzement Harvard (schnellhärtend)	11
b) Silikatzement Super-Syntrex	
c) Steinzement Cupro-dur	
2.) Herstellung der Versuchskörper	12
Entwicklung einer speziellen Stahlform	
3.) Methodik	13
a) Bestimmung der Standard-Konsistenz	
b) Modifikation der Verarbeitung	
1. Aufbewahrung in feuchter Kammer bei 37°	
2. Aufbewahrung unter Wasser	
c) Oberflächenbearbeitung	
1. Celluloidstreifen nicht eingefettet	
2. Celluloidstreifen eingefettet	
3. Poliert mit Soft-Acrylsteinchen	
d) Bestimmung der Oberflächenbeschaffenheit	
1. Profilograph	
2. Replica-Methode	
Untersuchungszeit: a.nach 24 Std.	
b.nach 4 Wo.	
Ergebnisse der Untersuchungen und statistische Auswertung	22
III. Kritische Betrachtungen und Schlußfolgerungen für die Praxis	44
IV. Zusammenfassung	48

I. Literatur

Die Untersuchungen über Zahnzemente gehören zu den schwierigsten und wichtigsten Problemen der zahnärztlichen Werkstoffkunde überhaupt. 1928 entwickelten die Amerikaner genaue Prüfvorschriften für Zahnzemente, die bis heute ihre Gültigkeit haben. Herausgegeben werden diese Vorschriften vom National Bureau of Standards, der staatlichen Materialprüfstelle in Washington D.C., als sog. Spezifikationen. Mit diesen rein technologischen Prüfungen der Härte, der Festigkeit, der Klebkraft, der Kontraktion und anderer Eigenschaften, so wertvoll solche Untersuchungen zur Beurteilung eines Zements auch sein mögen, ist es heute nicht mehr getan. War die Oberflächenprüfung bis vor 30 Jahren noch das Interessengebiet einiger weniger Fachleute, so ist sie heute in der Industrie ein Problem geworden, das immer mehr an Bedeutung gewinnt. Bei den Untersuchungen zahnärztlicher Zemente wurde dieser Erkenntnis lange Zeit nur zögernd Rechnung getragen, und erst in den letzten Jahren haben derartige Prüfungen den Raum in wissenschaftlichen Experimenten erhalten, der ihnen auf Grund ihrer großen Bedeutung zukommt.

Alle zahnärztlichen Werkstoffe - so auch die Zemente - unterliegen im Munde des Patienten den verschiedensten chemischen, physikalischen und mechanischen Einwirkungen. Ihre Resistenz gegenüber diesen Einwirkungen, so betont WEIKART (14), ist nicht allein von ihrem inneren Aufbau, ihrer chemischen Natur abhängig, sondern auch weitgehend von ihrer Oberflächengüte. Dies gilt besonders hinsichtlich der Korrosionsfestigkeit, der Verfärbungsmöglichkeit, der mechanischen Abnutzung und der Dauerfestigkeit. Für die Beurteilung der Oberflächengüte sind außer der Oberflächengestaltung auch die Oberflächenbeschaffenheit und das Oberflächenverhalten zu berücksichtigen.

Eine zweckmäßige Oberflächengestaltung der gelegten Füllung, so schreibt EIFINGER (2), ist neben einer sinnvollen Kavitätenpräparation eine wichtige Voraussetzung für die Haltbarkeit und Lebensdauer einer Füllung. Hierdurch werden einmal exakte Bandschlußverhältnisse geschaffen, die der Entstehung von Sekundärkaries entgegenwirken, zum anderen wird durch die Oberflächenpolitur die Belagbildung herabgesetzt und die an der Füllung grenzende Gingiva mit dem dazugehörenden Parodont vor chronischen Irritationen durch überstehende oder rauhe Füllungspartien bewahrt bleiben. Die Oberflächenbeschaffenheit betrifft die physikalisch-chemische Natur der Oberfläche, d.h. das Gefüge, die Härte. Das Oberflächenverhalten umfaßt all die Fragen, die im Zusammenhang mit den wechselseitigen chemischen oder physikalischen Beziehungen des Werkstoffes zu seiner Umwelt stehen.

Zahnzemente, ob Phosphatzemente, Silikate oder Steinzemente, müssen einige grundlegende Eigenschaften aufweisen:

- 1.) Unschädlichkeit für Pulpa und Parodontium.
- 2.) Mundbeständigkeit, d.h. sie müssen resistent gegen die zersetzenden Einflüsse des Speichels und der Bakterien sein.
- 3.) Mechanische Widerstandsfähigkeit gegen Druck, Zug und Abscherkräfte.
- 4.) Volumenbeständigkeit und Haftintensität.
- 5.) Leichte Verarbeitung, Porenfreiheit, Politurfähigkeit, zahnähnliches Aussehen, geringe Wärmeleitfähigkeit.

Kein Zahnzement besitzt bislang all diese Eigenschaften.

Zinkphosphatzemente

Von Rostaing 1878 erstmals hergestellt, nimmt Zinkphosphatzement nun seit fast 100 Jahren eine dominierende Stellung bei der Versorgung von Hartsubstanzdefekten an Zähnen ein.

Lange Zeit fanden diese Zemente mangels eines besseren Materials als definitive Füllung Verwendung, heute werden sie nur mehr als Unterfüllmaterial und als Provisorium benutzt, da ihnen vor allem wesentliche physikalische und chemische Eigenschaften (Kantenfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen den Speichel) fehlen.

Ihre Zusammensetzung wird von den Firmen meist als ein Geheimnis gehütet und ist uns daher nur auf analytischem Wege zugänglich. Sie hat sich im Laufe der Jahre kaum verändert. KETTERL (8) gibt folgende Zusammensetzung an:

Pulver:

80 % Zinkoxyd
(durch Glühen CO_2 und H_2O frei)
20 % Härtesubstanz
(Zusammensetzung ähnlich dem Bauzement)
 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 .

Flüssigkeit:

über 50 % gebundene Orthophosphorsäure
wenige % freie Orthophosphorsäure
über 25 % H_2O
kolloidal gelöste Phosphate

KLUCZKA (10) stellt auch fest, daß das Pulver in der Hauptsache aus Zinkoxyd besteht und die Flüssigkeit Orthophosphorsäure ist. Er schreibt:

"Eine Base kommt also mit einer Säure zusammen. Es bildet sich ein neutrales Zinksalz. Später geht es im Munde durch H_2O -Aufnahme (Speichel) in ein basisches Zinkphosphat über."

Wie WEIKART (15) betont, verhält sich das Pulver zur Säure wie Mehl zu Wasser.

KLUCZKA (10) rät deshalb beim Anrühren kleine Portionen des Pulvers zur Säure zuzusetzen und dann weitere Mengen folgen zu lassen. Wird das Mengenverhältnis Säure-Pulver gleich gewählt, so tritt eine unerwünschte Beschleunigung der Erhärtung ein, da Wärme frei wird. Die Folge sind Porösität und mangelnde Festigkeit; die Füllung wird leichter ausgewaschen. HESS (5) hebt hervor, daß Oberflächenporösität besonders bei Phosphatzementen auftritt. Er führte diesen Beweis durch Anfärbung mit Eosin und Methylenblau, die tief ins Innere des Zementes eindringen.

KNAPFWORST (9) schreibt hierzu:

"Der durch gewöhnliche Auflösung des Zinkphosphats entstandene Auswascheffekt kann selbst bei mehreren Litern Speichel pro Tag nur sehr gering sein. Wenn wir nun aber doch in der Praxis starke Auswascheffekte bei den Phosphatzementen beobachten, so sind diese neben einem rein mechanischen Abbröckelprozess auf einen interessanten, durch Phosphatbasen des Speichels bzw. der Bakterien katalysierten Abbauprozess zurückzuführen. Das für den Abbau des Zinkphosphates notwendige saure Milieu wird von acidogenen Bakterien durch enzymatische Zersetzung von an der Zementoberfläche adhäsierten Stoffen (Kohlehydrate) geliefert. Der Vorgang ist der Schmelzkaries vollkommen analog."

Silikate:

Die Silikatzemente wurden im Jahre 1902 durch Ascher in die Zahnheilkunde eingeführt.

Ihr Name ist nach Sackur eine Irreführung, da nicht Kieselsäure als Flüssigkeit dient, sondern ebenfalls Phosphorsäure, und zwar Ortho- in Verbindung mit Meta- und Paraphosphorsäure. Das Pulver dagegen besteht neben den die Phosphorsäure

bindenden Basen zum großen Teil aus Aluminiumsilikat und freier Kieselsäure.

KETTERL (7) gibt folgende Zusammensetzung an:

Pulver:

Al₂O₃, SiO₂

Oxyde: Na₂O, CaO, MgO, ZnO, BeO

Fluorsalze

Phosphate

CO₂

Flüssigkeit:

hochkonz. Lösung von prim. Phosphaten des Mg, Zn, Al,
freie Phosphorsäure

Wasser

Der Autor beziffert das Vorkommen der Silikate in der Füllungstherapie mit 24 % aller Füllungen und schreibt:

"Die mechanischen Eigenschaften der Silikatzemente sowie ihr zahnähnliches Aussehen haben ihnen ein klar umrissenes Indikationsgebiet zugewiesen, das auch heute noch Gültigkeit besitzt. Sie sind ausschließlich im sichtbaren Frontzahnbereich überall dort indiziert, wo nicht Teile der Schneidekante zu ersetzen sind und die Kavität während der Zeit der Applikation und Abbindung der Füllung trocken gehalten werden kann." Dieses Indikationsgebiet ist auch nicht größer geworden durch die sog. Faseramierung der Silikate, deren namhaftester Vertreter das Achatit-biochromatic ist. Die Zugfestigkeit wird durch diesen Glasfaserzusatz zwar wesentlich erhöht, die übrigen Eigenschaften bleiben nach EFFINGER und FECHT jedoch unverändert.

KELLERMANN und LAUVEN (6) fanden experimentell in vollständig undeformierbaren Silikatkörpern einen Porenraum von 18,1 Vol. %. Diese nicht unwesentliche Porösität kann jedoch durch äußeren Druck im Stadium der Komprimierbarkeit auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Sie halten die Schaffung einer möglichst glatten Oberfläche in diesem Stadium durch leichtes Hämmern und Polieren unter Druck für unbedingt erforderlich und schreiben:

Wichtig für die Oberfläche ist die richtige Ausnutzung des Stadiums der Kompressibilität der Mischung während des plastischen Zustandes. Die Durchknetung muß möglichst langdauernd sein, um die Hohlräume zu vermindern; sie darf aber auch nicht so lange dauern, bis die Abbindung einsetzt und eine Überbeanspruchung der zunächst lockeren Verbindung zwischen den gelatinisierten Körnern erfolgt und damit eine große Menge feinsten Risse entsteht, die niemals wieder heilen.

KETTERL (7) schreibt zur Oberflächenbeschaffenheit:

Wird das Silikatzement unter Druck in die Kavität eingepreßt, so bildet sich die bekannte glatte, glänzende Oberfläche. Die von JULEN durchgeführten und von anderen Autoren nachgeprüften mikroskopischen Untersuchungen zeigen, daß durch die Anwendung des Drucks an der Oberfläche eine praktisch blasenfreie Rindenschicht von etwa 0,1 mm Dicke entsteht, die als korrosionsresistenter Schutz anzusprechen ist. Wird diese Rindenschicht weggeschliffen, wie dies beim sog. Polieren der Fall ist, so wird das porenreiche und weniger dichte Innere der Füllung freigelegt, und eine rauhe, unebene Oberfläche mit Rillen und Furchen entsteht.

RIEDEL (13) bestätigt diese Aussagen und betont, je glatter und porenfreier die Rindenschicht, desto korrosionsresistenter ist das im Inneren stets poröse Füllmaterial.

Die Korrosionsgröße steht also in direktem Verhältnis zur Oberflächenbeschaffenheit.

HOCHSTRASSER stellte dazu im Mundhöhlenautomaten fest, daß die Korrosionswerte umso günstiger liegen, je besser es gelingt, eine möglichst große Pulvermenge mit der Flüssigkeit zu vermengen, Bleibt der Anmischteig trocken und bröckelig, nimmt die Korrosion zu.

KETTERL (7) stellt somit die Forderungen:

- 1) Möglichst viel Pulver in die Flüssigkeit einspateln
- 2) Plattentemperatur 10 - 12°C
- 3) Vermeidung von Überschuss
Erhärtung unter Druck
- 4) Vermeidung des Polierens und somit Erhaltung einer porenfreien Rindenschicht.

Außerordentliche Bedeutung für die Oberflächenbeschaffenheit und den Randschluß hat nach Meinung des Autors die Vermeidung selbst geringster Flüssigkeitszutritte bis zur Beendigung der primären Erhärtung. Gelingt es nicht, durch geeignete Maßnahmen, von denen das Anlegen von Cofferdamm immer noch die sicherste ist - in Deutschland aber leider nur in weniger als 0,1 % der Fälle Verwendung findet - während dieser Zeit für absolute Trockenheit zu sorgen, so fallen, wie DOLDER gezeigt hat, ganze Silikatkörner bis zu einer Größe von 20 μ aus.

KETTERL weist ferner darauf hin, daß eine Beeinflussung des Abbindevorgangs durch Warmluft ebenso wie der Abschluß der Füllung durch Zahnlack während der primären Erhärtungszeit die Ausbildung einer porenfreien Rindenschicht verhindert. Später, so betont DAUSCH, ist dann das feuchte Milieu notwendig zur allmählichen Kristallisation.

Durch Austrocknung, wie wir sie bei Mundatmern häufig finden, oder wie sie durch Chloroform oder Alkohol beim

Trocknen einer der Silikatfüllung benachbarten Kavität hervorgerufen werden, wird die Rißbildung, Schrumpfung und damit auch die Korrosion provoziert.

Diese Rißbildungen, die sich nach EIFINGER und FECHT (1) auch schon bei der Primärerhärtung als Folge der Erhärtungskontraktion bilden, sind neben Oxydation, Auflagerung und Bestrahlung die Ursache für die relativ hohe Verfärbungsquote, die KETTERL bei Untersuchungen nach 3 - 5 Jahren mit 11 % und PLATTNER sogar mit 38 % angeben.

EIFINGER, KETTERL, RIEDEL und andere Autoren sehen als optimale Politur einer Silikatfüllung das Legen dieser Füllung unter einem nicht mit Vaseline beschickten Celluloidstreifen an, der die Formgebung ermöglicht und durch den das Material bis zur Beendigung der primären Erhärtung unter Druck gehalten werden kann. Voraussetzung für eine porenarme Rindenschicht ist zudem der möglichste Verzicht auf eine Politur der Zementoberfläche.

EIFINGER (2) empfiehlt für eine notwendig gewordene Nachbearbeitung der gelegten Füllung vaselineierte Arkansassteine in Verbindung mit Leinenpolierstreifen und Finierern. Dieser korrigierende Schleifvorgang sollte frühestens nach 2 - 3 Tagen erfolgen. Abschließend Politur mit Filzkegel und Schlemmkreide. Gute Ergebnisse erhielt der Autor auch mit vaselineierten Celluloidstreifen.

RIEDEL lehnt den mit Vaseline beschickten Celluloidstreifen prinzipiell ab. Er empfiehlt eine eventuelle Korrektur mit einem Softsteinchen vorzunehmen. Finierer hält er für ungeeignet. So bearbeitete Oberflächen zeigen eine aufgerauhte, kraterreiche Rindenschicht, bei der mit starker Korrosion zu rechnen ist.

Prinzipiell von allen Autoren abgelehnt werden Karborundumsteine, die tiefe Schleifspuren bewirken.

Die Aussagen der Autoren über die Oberflächenbeschaffenheit der Silikate und ihre zweckmäßige Bearbeitung stützen sich bis heute weitgehend auf Ergebnisse mikroskopischer Untersuchungen, mit Ausnahme der elektronenmikroskopischen Untersuchungen von RIEDEL.

Exakte Zahlenwerte jedoch über die Rauhtiefen der Silikatoberflächen nach den in der Praxis gebräuchlichsten Bearbeitungsmethoden konnte ich in der Literatur nicht finden.

Steinzemente:

Die Stein- oder Silicophosphatzemente stellen chemisch eine Mischung von Phosphatzement und Silikat dar; sie nehmen eine Mittelstellung ein.

FALCK und WEICKART (3) betrachten sie als Zink-Phosphatzemente, denen lediglich zur Steigerung der mechanischen Widerstandsfähigkeit Silikate zugesetzt sind.

KETTERL (7) gibt ihren Silikatanteil je nach Fabrikat mit 20 - 80 % an und empfiehlt ebenso wie EFFINGER, FECHT und andere die Verarbeitungstechnik wie bei den Silikaten.

Das Indikationsgebiet sind Seitenzahnfüllungen und Zahnhalskavitäten, obwohl FLASCHENTREHER (4) hier Auflösungserscheinungen festgestellt haben will.

FECHT (1) konnte ebenso wie PFAFFENBARGER in Untersuchungen an der Oberfläche durch Abrieb bedingte Korrosionseffekte feststellen.

EFFINGER (1) beobachtete häufig Verfärbungen, hervorgerufen durch chemische oder physikalische Prozesse im Füllkörper oder durch Diffusion von Farbpartikelchen durch Mikrorisse.

Cupro-dur gehört zu den kupferhaltigen Vertretern der Steinzemente, bei denen der enzymatische Abbau keine Rolle spielt, und die sich zur allgemeinen Kariesprophylaxe gut bewährt haben.

II. Eigene Versuche

Die Versuche sollen dazu dienen, anhand von Oberflächenprüfungen an Probekörpern die zweckmäßige Bearbeitungsmethode zur Erzielung einer optimalen Oberflächengüte zu finden.

1.) Verwendete Zemente:

In meinen Untersuchungen soll die Oberflächenbeschaffenheit folgender Zemente geprüft werden:

- a) Zinkphosphatzement Harvard (schnellhärtend)
Hersteller: Harvard-Dental-Gesellschaft, Berlin
- b) Silikat-zement Super-Syntrex
Hersteller: de Trey-Gesellschaft, Wiesbaden
- c) Silikat-zement Achatit-blochromatic
Hersteller: Vivadent, Schaan/Lichtenstein
- d) Steinzement Cupro-dur
Hersteller: Firma Merz, Frankfurt/M.

2.) Herstellung der Versuchskörper:

Die Herstellung der Probekörper soll bei einer Temperatur von 18 - 24°C geschehen. Die relative Luftfeuchtigkeit darf zwischen 55 und 75 % schwanken. Das Verhältnis Pulver-Flüssigkeit wird durch die Standardkonsistenzbestimmung festgelegt. Das Anrühren der Zemente soll nach den in der Gebrauchsanweisung angegebenen Bedingungen geschehen. Alle Apparate und Instrumente sollen sauber, trocken und frei von erhärtetem Zement sein.

Diese vom National Bureau of Standards herausgegebenen Vorschriften können aber einen Faktor nicht ausschalten, den KLEINSORGEN das "persönliche Moment" beim Anmischen eines Zements nannte (KLEINSORGEN in "Zur Prüfung von Zahnzementen auf ihre Festigkeit" von P. Weikart). Dieses persönliche Moment läßt sich natürlich nicht genau definieren, es setzt sich aus einer Reihe unkontrollierbarer Momente beim Anmischen zusammen, wie Handhabung des Spatels und den dadurch ausgeübten Druck auf die Zementmasse, die Art des Verreibens und des Ausstreichens, des Zementbreies und die Innigkeit des Durchmischens von Pulver und Flüssigkeit. All diese Faktoren beeinflussen das Einsetzen und die Intensität der Reaktion zwischen Pulver und Flüssigkeit und dadurch den ganzen Verlauf der Abbindung und die Eigenschaften des Probekörpers. Beim schnellhärtenden Phosphatzement tritt das persönliche Moment weniger in Erscheinung, stärker beim normalhärtenden und am stärksten bei Silikatzementen.

Zur Anfertigung der Probekörper haben wir eine spezielle, zerlegbare Präzisionsform aus Stahl anfertigen lassen, in der 4 Rechtecke mit den Maßen 8 mm Länge und 4 x 4 mm quadratischem Querschnitt ausgefräst waren; so war in einem Arbeitsgang die Anfertigung von 4 Versuchskörpern möglich. Diese Stahlform konnte in der Mitte auseinandergenommen werden, so daß die Probekörper sich ohne

Schwierigkeiten entfernen ließen. Als Isoliermittel diente ein feinsten Überzug aus reiner Vaseline.

3.) Methodik

a) Bestimmung der Standardkonsistenz

Bevor man mit der Herstellung der Probekörper beginnt, ist es zur Erzielung von ausgeglichenen und objektiven Ergebnissen erforderlich, sich gründlich mit dem zu verwendenden Material vertraut zu machen und mit größter Sorgfalt die Anrührtechnik durchzuführen.

Die Spezifikation gibt über Anmischtechnik und -zeit keine besondere Anweisung. Ich habe hierfür eine experimentell bewährte Methode gewählt.

Methodik des Anmischens von Silikatzementen.

Zum Anrühren wurde eine Thermoanrührplatte mit 12°C Innentemperatur verwendet. Hierauf wurde eine genau mit der Analysenwaage abgewogene Pulvermenge gegeben. Diese Menge teilt man in 2 gleiche Teile, darauf die eine Hälfte nochmals, so daß 3 Portionen von ein halb und zweimal ein viertel der Gesamtmenge entstehen. Dann werden 0,4 ccm Flüssigkeit mit einer Präzisionspritze in einiger Entfernung vom Pulver auf die Platte gebracht. Der Anmischvorgang erfolgt mit einem Achatspatel mit geraden Seitenkanten (Spatel aus einem anderen Material bietet keine Gewähr für eine saubere Zementmischung). Die Anmischzeit beträgt 1 Minute und wird mit einer Kurzzzeituhr überwacht. Es wird zuerst die große Portion (d.h. 1/2 der Gesamtmenge) mit der Flüssigkeit 15 Sekunden durchgespatelt. Es ist hierbei von Bedeutung, daß die anzurührende Masse auf eine möglichst

große Fläche ausgedehnt wird, und zwar sollte ca. $\frac{1}{3}$ der Plattenoberfläche benetzt sein. Nun wird die zweite Portion Pulver (also $\frac{1}{4}$ der Gesamtmenge) der angerührten Masse hinzugefügt und vermischt. Nach weiteren 15 Sek. wird die verbliebene Restmenge ($\frac{1}{4}$ der Gesamtmenge) zugegeben und wiederum 15 Sek. durchgerührt. In den noch verbleibenden 15 Sek. wird dann die ganze Masse kräftig durchgearbeitet unter kreisenden, gradlinigen Spatelbewegungen und Druck bis zur 60. Sekunde. Nach diesem Zeitintervall muß sich das gesamte Pulver in der Flüssigkeit gelöst haben.

Standardkonsistenz-Bestimmung:

Von den Produzenten zahnärztlicher Zemente liegen nur in wenigen Fällen präzise Angaben über das Mischungsverhältnis zwischen Pulver und Flüssigkeit vor. Die Firmen haben jedoch weitgehend ihre Präparate den Prüfungsnormen des amerikanischen Prüfungsamtes angepaßt; zur Erzielung eines objektiven Vergleichurteils sämtlicher Präparate ist es daher notwendig, diese nach den Prüfnormen auf ihre Konsistenzbeschaffenheit zu untersuchen und dementsprechend ihr Pulver-Flüssigkeitsverhältnis festzulegen.

Die fertig angemischte plastische Zementmasse wird in einen Glaszylinder gebracht, der einen Durchmesser von 10 mm und ein Fassungsvermögen von 0,5 ccm hat. Mittels eines Kolbens wird diese Masse von 0,5 ccm auf eine Glasplatte ausgestoßen. 2 Minuten nach Anrührbeginn wird auf diesen Zementbrei eine 20 gr. schwere Deckplatte aus Glas aufgelegt und mit einem Gewicht von 2480 Gramm belastet. Durch einen konstanten Druck von 2500 Gramm wird die anfänglich noch plastische Masse zu einer flachen Scheibe gedrückt, deren Durchmesser 10 Minuten nach Anrührbeginn gemessen wird. Dieser soll 25 ± 1 mm betragen. Durch mehrfach wiederholte Versuche wird durch unterschiedliche Zugabe der Pulvermenge zu der konstanten 0,4 ccm Flüssigkeit die richtige Konsistenz ausgetestet. Dieses Ergebnis wird wiederum durch je 3

Parallelversuche überprüft und das hierbei ermittelte Durchschnittsgewicht auf die nächsten 0,05 Gramm abgerundet.

Die Standardkonsistenz der von mir untersuchten Silikatzemente ergab folgende Werte:

Präparat	Pulver	Flüssigkeit
a. Super-Syntrex	1,70 gr.	0,4 ccm
b. Achatit-biochromatic	1,85 gr.	0,4 ccm

Mit den so ermittelten Konsistenzwerten für jeden Zement werden in den entsprechenden Mischungsverhältnissen die Probekörper hergestellt.

Methodik des Anmischens von Phosphatzementen.

Wieder wird auf eine saubere und trockene Thermoanrührplatte von 12°C Innentemperatur eine genau abgewogene Pulvermenge gebracht. Diese teilt man in 2 gleiche Teile, deren eine Hälfte nochmals und das eine Viertel wird dann halbiert. So entstehen 4 Portionen von 1/2, 1/4 und zweimal 1/8 der Gesamtmenge. Zu diesen Pulverteilen wird 0,5 ccm Flüssigkeit mit einer Präzisionspritze in gewissem Abstand vom Pulver auf die Platte aufgetragen. Der Anmischvorgang beträgt 1 1/4 Minuten.

Nun wird unter Kontrolle einer Kurzzeituhr nach folgendem Schema angemengt:

- 1/8 der Pulvermenge 15 Sekunden lang
- 1/8 der Pulvermenge 15 Sekunden lang
- 1/4 der Pulvermenge 15 Sekunden lang
- 1/2 der Pulvermenge 30 Sekunden lang.

Wie bei den Silikaten soll der Anmischvorgang die vorgeschriebene Zeit nicht überschreiten und sämtliche Pulver- und Flüssigkeitsteilchen innig miteinander verbinden.

Standardkonsistenz-Bestimmung

Der fertig angemischte Zinkphosphatzement wird in einen Glaszylinder von 6,5 mm Durchmesser und 0,5 ccm Fassungsvermögen gefüllt und mittels eines Kolbens auf eine Glasplatte ausgestoßen. 2 1/2 Minuten nach Anrührbeginn wird auf diesen noch plastischen Zementbrei eine 20 gr. schwere Deckplatte gelegt, die mit 100 Gramm belastet wird. Die richtige Konsistenz ist erreicht, wenn die komprimierte Mischung 10 Minuten nach Anrührbeginn einen mittleren Durchmesser von 30 ± 1 mm erreicht hat.

Das in 3 solcher Bestimmungen ermittelte Durchschnittsgewicht wird auf die nächsten 0,05 g aufgerundet.

Meine Untersuchungen haben folgenden Wert für die Standardkonsistenz ergeben:

<u>Präparat</u>	<u>Pulver</u>	<u>Flüssigkeit</u>
A. Harvard	1,30 g	0,5 ccm

Die Herstellung der Probekörper erfolgt nun in diesem Mischungsverhältnis.

Steinzemente:

Wir haben hier die gleiche Anrührtechnik wie für Silikat-zemente gewählt.

Die Standardkonsistenzbestimmung erfolgte nach den Richtlinien der Spezifikation Nr. 9 für Silikat-zemente.

Meine Untersuchungen haben folgenden Wert für die Standardkonsistenz ergeben:

<u>Präparat</u>	<u>Pulver</u>	<u>Flüssigkeit</u>
A. Cupro-dur	2,10 g	0,4 ccm

Die Herstellung der Probekörper erfolgt nun in diesem Mischungsverhältnis.

Der ermittelte Wert von 2,10 g Pulver für 0,4 ccm Flüssigkeit erscheint vielleicht ein wenig hoch; die so angemischte Zementmasse konnte jedoch gut verarbeitet werden und zeigte die erwünschte kittartige Konsistenz.

b) Modifikation der Verarbeitung:

- 1.) Aufbewahrung in feuchter Kammer bei 37°C
- 2.) Aufbewahrung unter Wasser

Wir waren bemüht, als Modifikation der Verarbeitung weitgehend mundähnliche Bedingungen für die Zemente zu schaffen. So wurde einmal die Aufbewahrung der Prüfkörper unter Wasser, zum anderen die Aufbewahrung in einer feuchten Kammer bei 37°C gewählt. Durch diese Kombination der Bedingungen wollten wir auch darüber Auskunft erhalten, in welchem Maß die Löslichkeit der Zemente Einfluß hat auf die Oberflächengüte. Nach den ADA(American-Dental-Association)-Spezifikationen dürfen Silikate bei 24stündiger Lagerung in ruhendem Wasser maximal 1,4 % ihres Gewichtes verlieren, Phosphate 0,3 % pro Woche.

Die Untersuchung erfolgte nach 24 Stunden und 4 Wochen. Manche Einwirkungen mechanischer, chemischer, bakterieller und elektrischer Art, wie sie sich im Munde abspielen, sind im Laboratoriumsexperiment jedoch nicht gleichsinnig durchführbar; dagegen ist die exakte Verarbeitung des Materials im Munde häufig sehr schwierig. Daher wird erst eine auf längere Beobachtungszeit gegründete klinische Prüfung imstande sein, eine Beurteilung zu ermöglichen.

c. Oberflächenbearbeitung

1. Celluloidstreifen nicht eingefettet
2. Celluloidstreifen eingefettet
3. Poliert mit Soft-Acrylsteinchen

Die Literatur weist mannigfaltige Methoden zur Erreichung einer maximalen Zementoberfläche vor. Trotz der zum Teil beträchtlichen Widersprüche in diesen Empfehlungen hat sich in den letzten Jahren experimentell die Bearbeitung der Silikatoberfläche mit einer nicht eingefetteten Celluloidfolie als die beste Methode herauskristallisiert. Wir wollen in den Untersuchungen diese Methode überprüfen und haben zusätzlich 2 der in der Praxis gebräuchlichsten Modifikationen der Oberflächenbearbeitung gewählt. Als Celluloidstreifen wurde ein Frasaco-Universalstreifen verwendet, zu dessen Einfettung ein feinstes Überzug aus reiner Vaseline diente. Die Politur, die naß ausgeführt wurde, geschah mit einem zylindrischen, feinstkörnigen Soft-Acrylsteinchen.

d. Bestimmung der Oberflächenbeschaffenheit:

Die Oberflächenprüfung erfolgte mit:

1. Profilograph
2. Replica-Methode

Profilograph:

Der Förster-Profilograph ist ein Meß- und Registriergerät zur schnellen und formgetreuen Aufzeichnung des Oberflächenprofils und zur direkten Anzeige der praktisch wichtigsten Rauheitsmaße:

1. Rauhtiefe Rt
2. Glättungstiefe Rp
3. Arithmetrischer Mittelrauhwert Ra
4. Geometrischer Mittelrauhwert Rg

Das Gerät, im Typ 5.815 im Februar 1966 auf den Markt gekommen, besteht aus dem Meß- und Anzeigegerät, dem Vorschub, dem Taster und dem Stativ.

Der Profilograph kann in einem sehr weiten Bereich der Oberflächenrauhtigkeit eingesetzt werden. Im empfindlichsten Meßbereich ergibt eine Rauhtiefe von 0,3 µm und im unempfindlichen Bereich von 100 µm Vollausschlag des Anzeigegerätes. Der sehr geringe Tastnadeldruck von weniger als 0,1 gr gestattet die Abtastung ohne Beschädigung der Oberfläche. Die mechanische Konstruktion des Vorschubes und die elektrische Schaltung des Meßgerätes ermöglichen die Registrierung und Messung schon ab einer Prüflänge von 2 mm bis maximal 10 mm in einem Arbeitsgang.

Prinzipielle Arbeitsweise des Gerätes.

Das Profil der zu vermessenden Oberfläche wird mit Hilfe einer Saphir- bzw. Diamantnadel abgetastet. Die Nadelbewegungen werden in einem elektromechanischen Wandler-System in elektrische Spannung umgewandelt, die der Tastnadelbewegung exakt proportional sind. Diese elektrischen Spannungen werden verstärkt und einem Schreibsystem zugeführt, welches dann das gemessene Oberflächenprofil formgetreu in dem gewählten Vergrößerungsmaßstab auf ein 50 mm breites Spezialpapier aufzeichnet.

Das Meßsystem befindet sich in dem vorderen, beweglich gelagerten Teil des Meßtasters. Dieser Teil liegt mit 2 Auflagepunkten auf der Oberfläche des Prüflings. Der erste Auflagepunkt befindet sich unmittelbar hinter der Abtastnadel, der andere in einem Abstand von etwa 60 mm. Dabei kann der Meßtaster selbst einen Winkel bis zu 6° zur

Oberfläche bilden, ohne daß die Abbildung der Oberfläche verfälscht wird. Der Meßtaster gleitet mit diesem Schuh praktisch über alle höchsten Spitzen der Oberflächenmikrostruktur, während die Abtastnadel sich von dieser Einhüllenden aus in alle Rillen und Riefen des Profils hineinbewegt. (Es ist wichtig, sich klar zu machen, daß als Bezugslinie für die Aufzeichnung die Werkstückoberfläche selbst dient und daß eigentlich die Relativbewegung zwischen Tasternadel und Gleitschuh aufgezeichnet wird.) Die Makrostruktur der Werkstückoberfläche wird daher vom Tastsystem nicht aufgenommen.

Der Taster wird durch einen ölhydraulischen Vorschub mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche bewegt.

Replica-Methode

Die zur Untersuchung von natürlichen und künstlich hergestellten Oberflächen entwickelte Replica-Technik (Adhäsionsreliefmethode) hat allgemeine Anerkennung gefunden. WOLF gebührt das Verdienst, die ersten Abdrücke von Zahnoberflächen gemacht zu haben, die unter dem Lichtmikroskop betrachtet werden konnten.

SCOTT und WYCKOFF führten die Shadowed Collodion Replica Method ein, bei der Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop möglich sind.

Als Abdruckmittel sind von Wolf eine Auflösung von Zelloidin in Azeton und von Scott und Wyckoff eine 4 % Kolloidumlösung benutzt worden, die mit gleichen Teilen Amylacetat und Äther auf 2 % verdünnt wird.

HEUSER, der die Wolf'sche Methode weiterentwickelt hat, löst Plexiglas in Chloroform auf. Diese Lösung trägt er mit einem

Wattebausch auf den Zahn auf. Nach dem Trocknen wird der dünne Plexiglasfilm mit Hilfe eines durchsichtigen Klebstreifens vom Zahn abgezogen und auf den Objektträger aufgeklebt.

Die Polymerisationszeit bei all diesen Methoden schwankt zwischen 15 - 30 Minuten.

Ich habe für die Herstellung der Replica-Abdrücke eine 0,02 mm Acetobutyrat-Folie benutzt, die von der Firma BAYER-Leverkusen unter dem Namen "Triofol-NB" hergestellt wird und mir für diese Arbeit dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurde.

Der Vorteil dieser von EIFINGER beschriebenen Methode liegt in der Vereinfachung der Technik durch die Verwendung einer fertigen Folie als Abdruckmaterial. Die Abdrucknahme ist denkbar einfach. Man schneidet ein Stückchen des Materials in der Größe der zu prüfenden Oberfläche aus, bringt mit einer Pipette einen Tropfen reines Azeton auf die Prüffläche und legt darauf mittels einer Pinzette die Triofol-Folie. Blasenbildung kann dabei durch einen kräftigen Luftstrahl auf die fixierte Folie vermieden werden. Bei der Lösung mit Azeton verschwindet die dem Material eigene Struktur und es entsteht ein wasserhelles und vollkommen lichtdurchlässiges Adhäsionsrelief.

Die Polymerisationszeit beträgt 30 Sekunden.

Mit einer Pinzette kann nach dieser Zeit die erhärtete Folie sehr einfach von der Oberfläche abgehoben werden.

Als einfachste Methode mit einem voll befriedigenden Ergebnis hat sich erwiesen, die Reliefabdrücke dann im einfachen Lichtmikroskop bei zentral durchfallendem Licht und einer zusätzlichen seitlichen Beschattung zu betrachten.

Statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Die Messungen wurden bei folgenden Einstellungen am Profilograph durchgeführt:

Wellenbegrenzung: 0,7 mm

Meßbereich: 30 mm

Horizontalvergrößerung des Pa-pierschriebes: $V_H = 20$ mal

Vorschubgeschwindigkeit des Registrierstreifens: 10 mm/sec.

Gemessen wurde die Rauhtiefe R_t .

Sie wird direkt an einer in mm geeichten Skala abgelesen; die Angaben stellen Mittelwerte dar. Die in den folgenden Tabellen angeführten Zahlen geben also die Rauhtiefen der Probekörperoberflächen an.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse geschieht auf mathematisch-statistischer Grundlage in Form einer

- 1) einfachen Varianzanalyse
- 2) vierfachen Varianzanalyse.

Dabei bedeuten:

Σx = Summe der jeweils 4 Einzelab tastungen eines Probekörpers

$\Sigma \Sigma x$ = Gesamtsumme dieser 4 Einzelsummen

Σx^2 = Summe der quadrierten Einzelab tastungen eines Körpers

$\Sigma \Sigma x^2$ = Gesamtsumme dieser 4 Einzelsummen.

Für die einfache hierarchische Varianzanalyse gilt:

Art der Streuung	SAQ	FG	MAQ
A: Streuung zwischen den Oberflächenbehandlungen	$\frac{(\sum \sum x)^2}{16} - \frac{(\sum \sum \sum x)^2}{48}$	2	$\frac{SAQ_A}{2}$
B: Streuung zwischen den Probenkörpern derselben Oberflächenbehandlung (Materialunterschied)	$\sum \frac{(\sum x)^2}{4} - \frac{(\sum \sum \sum x)^2}{48}$	9	$\frac{SAQ_B}{9}$
C: Streuung innerhalb der Probenkörper (Versuchsfehler)	$\sum \sum \sum x^2 - \frac{(\sum \sum \sum x)^2}{4}$	36	$\frac{SAQ_C}{36}$
D: Streuung insgesamt	$\sum \sum \sum x^2 - \frac{(\sum \sum \sum x)^2}{48}$	47	

Für ihre Auswertung:

$\frac{MAQ_A}{MAQ_B}$ = F zwischen den Oberflächenbehandlungen

$$F_{1\%}(2,9) = 8,02$$

$$F_{1\% > p, 5\%}(2,9) = 4,96$$

$\frac{MAQ_B}{MAQ_C}$ = F zwischen dem Materialunterschied

$$F_{1\%}(9,36) = 2,95$$

$$F_{1\% > p, 5\%}(9,36) = 2,15$$

HARVARD

Lagerung unter Wasser

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Polliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Werte nach 24 Stunden:

6,0	7,0	7,5	10,5	18,0	14,5	14,0	18,0	3,0	3,5	5,0	8,0
5,5	5,5	7,0	8,0	6,5	12,0	25,5	27,0	4,8	10,0	4,5	8,0
12,0	4,5	7,0	18,0	10,5	18,0	22,0	30,0	2,5	10,0	4,5	7,5
4,5	3,0	6,0	17,0	16,5	13,0	14,0	25,0	4,0	2,5	4,0	4,5
Σx 28,0	20,0	27,5	53,5	51,5	57,5	75,5	100,0	14,2	26,0	18,0	28,0
Σx^2 230,5	108,5	190,25	787,25	748,75	1526,25	54,29	81,5	218,5	204,5		
$\Sigma \Sigma x =$ 129,00				= 284,50				= 86,30			
$\Sigma \Sigma x^2 =$ 1317,50				= 5700,25				= 558,79			

Art der Streuung	SAQ	FG	MAQ	F
A:	1360,14	2	680,07	11,17
B:	548,13	9	60,90	4,74
C:	463,11	36	12,86	
Insgesamt	2771,38	47		

$$\Sigma \Sigma x = 499,8$$

$$\Sigma \Sigma x^2 = 7576,54$$

Werte nach 4 Wochen:

6,0	6,75	18,0	8,0	21,0	25,5	18,0	12,25	6,5	5,0	6,0	3,75
12,5	13,5	15,75	7,0	30,0	30,0	16,5	18,0	11,5	5,75	9,0	4,0
16,5	7,5	9,0	9,5	30,0	20,0	18,0	25,5	3,5	15,0	6,0	3,0
11,25	4,5	7,5	8,25	30,0	24,0	10,5	11,5	6,5	6,25	10,5	13,0
46,25	32,25	50,25	32,75	111,0	92,5	63,0	67,25	28,0	32,0	31,5	237,5
591,06	709,31	3141,0		1030,5		229,0	182,25				
304,31	271,31	2526,25		1256,56		322,13	208,06				
$\Sigma \Sigma x =$ 161,50				= 340,75				= 115,25			
$\Sigma \Sigma x^2 =$ 1875,99				= 7954,31				= 941,44			

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	1773,33	2	886,66	18,08
B:	496,26	9	55,14	3,56
C:	558,27	36	15,50	
Insgesamt:	2827,86	47		

$$\Sigma \Sigma x = 617,50$$

$$\Sigma \Sigma x^2 = 10771,74$$

HARVARD

Lagerung in feuchter Kammer bei 37°C

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Poliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Werte nach 24 Stunden:											
8,25	13,5	4,5	11,25	15,0	9,0	12,75	30,0	4,5	3,0	3,0	10,5
9,75	10,5	6,0	21,0	21,75	7,5	16,5	20,25	6,0	3,0	3,0	13,5
11,25	16,5	12,0	14,25	21,0	24,0	9,0	10,5	4,5	3,0	2,25	6,0
6,0	10,5	7,5	18,0	27,0	15,0	22,5	18,75	4,5	9,0	6,0	5,25
35,25	51,0	30,0	64,5	84,75	55,5	60,75	72,5	19,5	18,0	14,25	22,25
325,69	256,5			1868,06	1022,06			96,75	59,06		
675,0	1094,63			938,25	1771,88			108,0	356,06		

$$\begin{aligned}\Sigma \Sigma X &= 180,75 & = 280,50 & = 87,0 \\ \Sigma \Sigma x^2 &= 2351,82 & = 5400,25 & = 619,87\end{aligned}$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	1170,44	2	585,22	13,19	$\Sigma \Sigma x = 548,25$
B:	399,34	9	44,27	2,96	$\Sigma \Sigma x^2 = 8371,94$
C:	540,12	36	15,00		

Insgesamt: 2109,90 47

Werte nach 4 Wochen:

4,5	3,5	13,5	6,0	17,5	10,5	10,5	6,75	5,0	4,5	6,75	3,0
6,0	20,0	15,0	12,0	13,5	15,5	18,0	9,75	5,75	5,75	6,25	4,5
6,75	5,5	10,5	10,0	26,5	17,5	10,5	9,75	6,0	5,75	3,75	3,75
11,0	7,5	18,0	10,5	14,5	30,0	12,75	24,75	9,0	6,0	2,75	5,5
28,25	36,5	57,0	28,5	72,0	73,5	51,75	51,0	25,75	22,0	19,5	16,75
222,81	841,5	1401,0		707,06				175,06	106,25		
498,75	390,25	1556,75		848,25				122,38	73,56		

$$\begin{aligned}\Sigma \Sigma x &= 160,25 & = 248,25 & = 84,0 \\ \Sigma \Sigma x^2 &= 1953,31 & = 4513,06 & = 477,25\end{aligned}$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	844,50	2	422,25	16,09	$\Sigma \Sigma x = 492,50$
B:	235,93	9	26,25	1,17	$\Sigma \Sigma x^2 = 6943,62$
C:	809,94	36	22,49		

Insgesamt: 1890,37 47

SUPER-SYNTREX

Lagerung unter Wasser

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Polliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Werte nach 24 Stunden:

6,0	10,5	5,2	3,8	24,5	17,0	11,0	21,0	25,0	10,0	9,5	4,5
19,0	7,0	5,5	18,0	30,0	19,5	10,5	13,0	30,0	12,5	18,0	5,0
2,0	15,5	7,5	14,0	21,5	11,0	16,5	16,5	4,0	12,0	16,0	5,0
3,75	10,0	3,5	3,5	19,0	8,0	16,5	19,0	6,0	23,0	15,0	6,5
397,5	43,0	21,7	39,3	25,0	55,5	54,5	69,5	65,0	57,5	58,5	21,0
379,06	95,54			2323,5	775,75			1577,0	895,25		
399,5	520,0			790,25	1243,25			929,25	112,5		

$$\Sigma \Sigma x = 134,75 \quad = 274,50 \quad = 202,00$$

$$\Sigma \Sigma x^2 = 1394,10 \quad = 5132,75 \quad = 3514,00$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	607,17	2	303,58	4,32
B:	633,05	9	70,34	2,50
C:	1013,31	36	28,14	

$$\Sigma \Sigma x = 611,25$$

$$\Sigma \Sigma x^2 = 10040,85$$

Insgesamt: 2253,53 47

Werte nach 4 Wochen

3,0	15,0	3,0	5,5	10,5	9,0	10,5	14,5	12,0	14,0	4,0	3,5
13,5	10,5	12,0	7,0	9,0	9,0	15,75	29,5	9,0	15,0	18,0	6,0
6,75	2,0	18,0	3,5	26,0	25,0	14,0	11,5	12,5	24,0	5,0	6,0
4,0	11,0	9,0	4,5	25,5	8,5	17,5	19,0	10,0	6,0	7,5	7,5
27,25	60,5	42,0	20,5	71,0	51,5	57,75	74,5	43,5	59,0	34,5	23,0
252,81	468,0	1517,5		860,56				481,25	421,25		
1032,25	111,75	778,25		1573,75				1033,0	140,5		

$$\Sigma \Sigma x = 150,25 \quad = 254,75 \quad = 160,0$$

$$\Sigma \Sigma x^2 = 1864,81 \quad = 4730,06 \quad = 2077,04$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	416,51	2	208,25	3,77
B:	497,50	9	55,27	1,79
C:	1107,38	36	30,76	

$$\Sigma \Sigma x = 565,00$$

$$\Sigma \Sigma x^2 = 8671,91$$

Insgesamt: 2021,39 47

SUPER-SYNTREX

Lagerung in feuchter Kammer bei 37°C

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Poliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Werte nach 24 Stunden:

6,0	19,5	7,5	12,75	10,5	30,0	7,5	5,0	4,5	18,0	15,0	3,0
8,0	11,5	25,5	4,0	17,5	8,5	5,0	17,0	11,0	19,5	28,5	3,5
3,0	8,0	5,0	3,75	22,5	10,5	10,5	10,0	3,75	8,0	11,5	3,75
4,0	7,5	3,5	3,75	28,0	6,0	9,0	4,5	7,5	6,5	20,0	2,5
21,0	46,5	41,5	24,25	78,5	55,0	32,0	36,5	26,75	52,0	75,0	12,75
125,0		743,75		1706,75		272,5		211,56		1569,5	
632,75		206,69		1118,5		434,25		810,5		41,56	

$$\sum x = 133,25$$

$$= 202,00$$

$$= 166,50$$

$$\sum x^2 = 1708,19$$

$$= 3532,00$$

$$= 2633,12$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	147,76	2	73,88	0,65
B:	1023,43	9	113,71	2,81
C:	1457,27	36	40,47	

$$\sum \sum x = 501,75$$

$$\sum \sum x^2 = 7873,31$$

Insgesamt: 2628,46 47

Werte nach 4 Wochen:

4,75	7,0	5,25	2,25	25,0	19,0	29,0	14,0	3,0	6,0	3,0	3,75
16,0	6,5	4,5	7,0	21,0	16,25	15,5	9,25	6,0	9,0	11,0	7,5
7,5	10,0	4,5	7,5	30,0	24,0	24,75	12,0	19,0	7,5	10,5	14,0
9,0	4,5	8,0	3,25	14,5	18,75	21,0	13,0	11,75	5,75	2,25	3,0
37,25	28,0	24,25	20,0	90,5	78,0	90,25	48,25	39,75	28,25	26,75	28,25
415,81		132,06		2176,25		2134,81		544,06		245,31	
211,50		120,88		1552,63		594,56		206,31		275,31	

$$\sum x = 107,50$$

$$= 307,00$$

$$= 123,00$$

$$\sum x^2 = 880,25$$

$$= 6458,25$$

$$= 1270,99$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	1539,51	2	769,75	18,82
B:	368,04	9	40,89	2,16
C:	683,06	36	18,97	

$$\sum \sum x = 537,50$$

$$\sum \sum x^2 = 8609,49$$

Insgesamt: 2590,61 47

ACHATIT

Lagerung unter Wasser

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Polliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Werte nach 24 Stunden											
5,25	6,0	25,5	6,5	30,0	30,0	30,0	29,5	3,0	5,5	5,0	5,75
28,0	13,0	15,0	25,5	27,0	27,25	30,0	25,5	15,0	3,0	6,75	17,5
16,5	22,5	13,5	11,0	28,5	18,0	18,0	25,0	26,0	4,5	8,0	6,0
13,0	7,5	4,5	28,0	17,0	20,5	22,0	25,0	9,0	5,0	4,5	5,75
62,75	42,0	58,5	71,0	102,5	92,75	100,0	105,0	52,0	18,0	24,25	35,0
1252,81	1077,75	2730,25	2608,0	991,0	154,81	84,5	408,38				
	767,5	1597,5	2386,81	2770,5							
$\Sigma \Sigma x = 241,25$				$= 403,25$				$= 130,25$			
$\Sigma \Sigma x^2 = 4695,56$				$= 10495,56$				$= 1638,69$			

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	2356,13	2	1178,06	42,30	$\Sigma \Sigma x = 774,75$
B:	250,72	2	27,85	0,59	$\Sigma \Sigma x^2 = 16829,81$
C:	1718,02	36	47,72		
Insgesamt:	4324,87	47			

Werte nach 4 Wochen											
7,5	29,0	12,0	24,5	24,75	25,0	15,0	19,5	9,0	3,5	13,5	3,0
16,0	27,5	28,5	21,0	19,5	21,0	23,0	21,0	3,25	4,5	5,0	6,75
16,5	6,5	16,5	3,0	15,5	17,0	21,5	30,0	2,0	15,0	5,5	3,75
16,0	12,0	11,0	24,0	14,0	20,0	23,5	10,0	7,5	8,0	3,75	1,5
56,0	75,0	68,0	72,5	73,75	83,0	83,0	80,5	21,75	31,0	27,75	15,0
840,50	1349,50	1429,06	1768,5	151,81	251,56						
1783,50	1626,25	1755,0	1821,25	321,5	70,88						
$\Sigma \Sigma x = 271,50$		$= 320,25$		$= 95,50$							
$\Sigma \Sigma x^2 = 5599,75$		$= 6773,81$		$= 795,75$							

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	1747,19	2	873,59	75,01	$\Sigma \Sigma x = 687,25$
B:	104,89	9	11,65	0,28	$\Sigma \Sigma x^2 = 13169,31$
C:	1477,39	36	41,03		
Insgesamt:	3329,47	47			

ACHATIT

Lagerung in feuchter Kammer bei 37°C

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Poliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Werte nach 24 Stunden

11,5	6,0	7,5	13,5	8,75	16,0	24,0	8,0	5,75	4,5	5,5	3,0
6,75	18,0	9,0	10,5	10,5	30,0	27,5	13,5	4,5	4,5	6,75	2,5
6,0	19,5	25,5	27,0	29,5	26,5	30,0	3,75	6,0	3,0	6,0	3,0
15,5	9,5	12,0	4,5	17,5	14,5	30,0	14,0	13,5	2,0	6,0	5,5
22,75	52,0	54,0	55,5	66,25	87,0	111,5	32,25	22,75	14,0	24,25	14,0
434,06		931,5		1363,31		3132,25		271,56		147,81	
	830,5		1041,75		2068,5		456,31		53,5		54,5

$$\sum \Sigma x = 202,25 = 304,00 = 82,00$$

$$\sum \Sigma x^2 = 3257,81 = 7020,37 = 527,37$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	1543,69	2	771,84	8,76
B:	792,51	9	88,05	2,52
C:	1260,23	36	35,00	

$$\sum \Sigma x = 588,25$$

$$\sum \Sigma x^2 = 10805,55$$

Insgesamt: 3596,43 47

Werte nach 4 Wochen

4,0	19,0	10,5	5,75	12,0	30,0	21,0	29,0	5,75	4,0	5,5	15,0
30,0	6,5	5,75	23,25	27,75	12,0	30,0	30,0	5,0	5,75	9,0	9,0
30,0	27,75	10,5	30,0	18,0	18,0	29,0	30,0	4,25	6,75	6,0	7,5
11,25	11,5	7,5	6,75	12,0	14,25	24,0	28,0	7,5	5,75	9,0	6,5
75,25	64,75	34,25	65,75	62,75	74,25	104,0	117,0	22,25	22,25	29,5	38,0

1942,56	309,81	1382,06	2758,0	132,38	288,25
1305,56	1519,19	1571,06	3425,0	127,69	404,5

$$\sum \Sigma x = 240,00 = 365,00 = 112,25$$

$$\sum \Sigma x^2 = 5077,12 = 9136,12 = 892,82$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F
A:	1996,41	2	998,20	13,34
B:	672,42	9	74,82	1,56
C:	1718,58	36	47,73	

$$\sum \Sigma x = 717,25$$

$$\sum \Sigma x^2 = 15106,06$$

Insgesamt: 4388,41 47

CUPRO DUR

Lagerung unter Wasser

Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Poliert			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Werte nach 24 Stunden:

16,0	21,0	6,5	4,0	22,0	19,5	13,25	18,75	3,0	10,25	5,25	7,5
12,0	18,5	4,0	18,0	11,5	29,25	16,75	26,5	5,25	3,0	4,75	12,0
13,0	7,5	6,0	7,0	30,0	14,25	27,0	26,75	5,0	6,0	3,0	8,25
22,5	16,0	13,5	19,5	12,75	21,5	30,0	12,75	9,0	6,0	9,0	10,75
63,5	63,0	30,0	48,5	76,25	84,5	87,0	84,75	22,25	25,25	22,0	38,5
1075,25	276,5			1678,81		2085,13		142,56		140,13	
	1095,5	769,25			1901,13		1931,94	186,06		383,0	

$$\begin{aligned} \Sigma \Sigma x &= 205,00 & = 332,50 & = 108,00 \\ \Sigma \Sigma x^2 &= 3216,50 & = 7597,01 & = 852,63 \end{aligned}$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	1584,69	2	792,34	28,61	$\Sigma \Sigma x = 645,50$
B:	249,24	9	27,69	0,86	$\Sigma \Sigma x^2 = 11666,14$
C:	1151,58	36	31,98		

Insgesamt: 2985,51 47

Werte nach 4 Wochen

6,5	7,5	7,5	27,5	24,0	10,5	12,5	6,0	4,0	3,0	15,0	1,0
27,0	6,75	15,0	21,0	15,0	15,0	22,5	15,0	3,0	6,0	7,5	3,0
16,0	6,75	10,0	24,0	15,75	18,0	16,0	12,0	5,0	3,0	6,0	4,5
13,5	6,0	8,0	16,5	12,25	24,0	9,0	25,0	4,0	4,5	9,5	4,0
62,0	27,0	40,5	89,0	67,0	67,5	60,0	58,0	16,0	16,5	38,0	12,5
1209,5	445,25			1199,13		999,5		66,0		407,5	
	1833,75	2045,5			1235,25		1030,0	74,25		46,25	

$$\begin{aligned} \Sigma \Sigma x &= 219,50 & = 252,50 & = 83,00 \\ \Sigma \Sigma x^2 &= 5534,00 & = 4383,88 & = 594,00 \end{aligned}$$

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	1009,41	2	504,70	6,75	$\Sigma \Sigma x = 555,00$
B:	672,66	9	74,74	1,12	$\Sigma \Sigma x^2 = 10511,88$
C:	2412,70	36	67,01		

Insgesamt: 4094,70 47

CUPRO-DUR				Lagerung in feuchter Kammer bei 37°C											
Celluloid ohne Fett				Celluloid mit Fett				Poliert							
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Werte nach 24 Stunden:															
4,5	4,0	6,5	27,0	10,5	11,75	3,75	3,0	11,0	2,5	4,5	1,5				
15,5	6,5	6,75	17,0	7,5	24,0	9,5	8,0	5,0	4,5	5,0	2,75				
6,0	6,75	12,0	15,0	13,5	14,5	7,0	18,0	7,5	6,0	10,25	4,5				
18,0	11,75	8,5	13,5	6,5	16,5	21,0	10,5	6,0	4,25	4,5	5,0				
44,0	29,0	33,75	72,5	38,0	66,75	41,25	39,5	29,5	17,25	24,25	13,75				
620,5	304,06			391,0	594,31			238,25	170,56						
241,88		1425,25		1196,56	507,25			80,56	55,06						
$\Sigma \Sigma x_2 = 179,25$				$= 185,50$				$= 84,75$							
$\Sigma \Sigma x = 2591,69$				$= 2689,12$				$= 544,43$							

Art der Streuung	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	398,33	2	199,16	3,88	$\Sigma \Sigma x = 449,50$ $\Sigma \Sigma x^2 = 5825,24$
B:	461,94	9	51,32	2,45	
C:	755,59	36	20,98		
Insgesamt:	1615,86	47			

Werte nach 4 Wochen															
6,5	9,0	8,0	15,5	20,5	23,0	14,5	15,75	3,5	5,0	2,5	1,5				
13,5	9,0	14,0	16,5	19,0	18,75	13,5	4,0	5,0	4,0	4,0	6,0				
12,0	20,0	8,5	19,5	26,0	20,5	18,0	17,0	12,0	4,0	4,5	4,0				
6,0	11,0	15,0	3,0	22,5	22,5	21,0	12,0	5,5	6,0	7,5	6,0				
38,0	49,0	45,5	54,5	88,0	84,75	67,0	48,75	26,0	19,0	18,5	17,5				
404,5	557,25	1543,25	1157,5	211,5	98,75										
683,0	901,75	1807,06	697,06	93,0	90,25										
$\Sigma \Sigma x = 187,00$		$= 288,50$		$= 81,00$											
$\Sigma \Sigma x^2 = 2516,50$		$= 5204,87$		$= 493,50$											

Art der Streuung:	SAQ	FG	MAQ	F	
A:	1345,72	2	672,86	20,66	$\Sigma \Sigma x = 556,50$ $\Sigma \Sigma x^2 = 8214,87$
B:	293,14	9	32,57	2,47	
C:	124,09	36	3,44		
Insgesamt:	1762,95	47			

Tabelle der F-Werte zwischen den Oberflächenbehandlungen.

		Unter Wasser	p	Feuchte Kammer	p
Harvard	24 Std.	11,17	++	13,19	++
	4 Wo.	18,08	++	16,09	++
Super-Syntrex	24 Std.	4,32	-	0,65	-
	4 Wo.	3,77	-	18,82	++
Achatit	24 Std.	42,30	++	8,76	++
	4 Wo.	75,01	++	13,34	++
Cupro-dur	24 Std.	28,61	++	3,88	-
	4 Wo.	6,75	+	20,66	++

Tabelle der F-Werte im Materialunterschied.

		Unter Wasser	p	Feuchte Kammer	p
Harvard	24 Std.	4,74	++	2,96	++
	4 Wo.	3,56	++	1,17	-
Super-Syntrex	24 Std.	2,50	+	2,81	+
	4 Wo.	1,79	-	2,16	+
Achatit	24 Std.	0,59	-	2,52	+
	4 Wo.	0,28	-	1,56	-
Cupro-dur	24 Std.	0,86	-	2,45	+
	4 Wo.	1,12	-	9,47	++

p: ++ =gesichert
 + =auffällig
 - =nicht gesichert

Ergebnis der einfachen hierarchischen Varianzanalyse.

Das Ergebnis der einfachen hierarchischen Varianzanalyse läßt eine statistisch gesicherte Aussage über den Unterschied der Oberflächenbehandlungen bei allen vier Versuchsanordnungen nur für den Phosphatzement Harvard und den Silikatzement Achatit zu.

Die so behandelten Oberflächen der Prüfkörper weisen die geringsten Rauhtiefen auf; damit hat sich bei beiden Zementen eine Politur mit einem Soft-Acrylsteinchen als zweckmäßig erwiesen.

Sowohl für den Steinzement Cupro-dur wie für den Silikatzement Super-Syntrex konnten die Ergebnisse nur für einen Teil der Versuchsanordnungen gesichert werden.

Dies liegt mit Sicherheit daran, daß einmal die Streuung innerhalb der Probekörper recht auffällig ist, zum anderen aber die Gesamtstreuung so groß, daß dadurch der Unterschied zwischen den Behandlungsmethoden nicht signifikant hervortreten kann.

Eine Aussage ist durch die einfache hierarchische Varianzanalyse für diese Zemente nicht möglich.

Die Auswertung wird daher mit Hilfe einer vierfachen Varianzanalyse durchgeführt; durch sie ist eine weitgehende Eindämmung der unerwünschten Faktoren gewährleistet.

Für die vierfache Varianzanalyse gilt:

Zwischen den Zementen.

$$\frac{(\text{Harvard})^2}{192} + \frac{(\text{Super-Syntrex})^2}{192} + \frac{(\text{Achatit})^2}{192} + \frac{(\text{Cupro-dur})^2}{192} - K$$

$$\underline{\underline{= 1297,65}}$$

Zwischen den Kammern:

$$\sum \frac{(\text{Werte unter Wasser})^2}{384} + \sum \frac{(\text{Werte feuchte Kammer})^2}{384} - K$$

$$= 414,00$$

=====

Zwischen den Zeiten:

$$\sum \frac{(\text{Werte 24 Std.})^2}{384} + \sum \frac{(\text{Werte 4 Wochen})^2}{384} - K$$

$$= 15,60$$

=====

Zwischen den Oberflächenbehandlungen:

$$\sum \frac{(\text{Werte Celluloid ohne Fett})^2}{256} + \sum \frac{(\text{Werte Celluloid mit Fett})^2}{256}$$

$$\sum \frac{+ (\text{Werte poliert})^2}{256} - K$$

$$= 16051,34$$

=====

Wechselwirkung Zement-Oberflächenbehandlung

$$\sum \frac{(\text{Werte Zement1/Oberflächenbeh.1})^2}{64} + \sum \frac{(\text{Werte Zement 1/Ober-}}{64}$$

$$\frac{\text{flächenbeh.2})^2}{64} + \dots \sum \frac{(\text{Werte Zement 4/Oberflächenbeh.3})^2}{64} -$$

K - SS_{Zement} - SS_{Oberflächenbehandlung}. (in beiden Kammern und beiden Zeiten)

$$= 2467,55$$

=====

Die übrigen Wechselwirkungen dienten lediglich zur Vervollständigung der Varianzanalyse; ihre Ergebnisse sind in der Gesamtübersicht angeführt.

Art der Streuung	SAQ	FG	MAQ	F	Sicherung
A.Zwischen Zementen	1297,63	3	432,54	12,4	+
B.Zwischen Kammern	414,00	1	414,00	11,9	+
C.Zwischen Zeiten	15,60	1	15,60	0,45	-
D.Zwischen Oberflächenbehandlungen	16051,34	2	8025,67	231,0	+
AB	38,89	3	12,96	0,37	-
AC	15,37	3	5,12	0,15	-
AD	2467,55	6	411,26	11,8	+
BC	136,46	1	136,46	3,94	auffällig
BD	55,55	2	27,78	0,8	-
CD	97,14	2	48,57	1,41	-
ABC	502,50	3	167,50	4,83	+
ABD	205,70	6	34,28	0,99	-
ACD	223,13	6	38,69	1,11	-
BCD	425,45	2	212,72	6,14	+
ABCD	309,52	6	51,59	1,49	-
Rest	24951,73	720	34,66		

767

$$\text{Insgesamt: } \sum \sum \sum x^2 - \frac{(\sum \sum \sum x)^2}{768}$$

$$= 160988,26 - K$$

$$= 47216,56$$

$$K = \frac{(\sum \sum \sum x)^2}{768} = 113771,7$$

Der F-Test wurde bei allen Vergleichen mit dem MAQ-Rest=34,66 im Nenner durchgeführt.

Sicherung: FG 1/720>6,68
FG 2/720>4,64
FG 3/720>3,81
FG 6/720>2,83

Zeichen: + =gesichert
- =nicht gesichert

Ergebnis der vierfachen Varianzanalyse.

Das Ergebnis erlaubt Aussagen über:

- 1) die Oberflächenbearbeitungen
- 2) die Modifikation der Verarbeitung
 - a) in feuchter Kammer bei 37°C
 - b) unter Wasser
- 3) die Untersuchungszeit
 - a) nach 24 Stunden
 - b) nach 4 Wochen
- 4) einen Vergleich der Zemente
- 5) die Wechselwirkungen dieser Faktoren

Oberflächenbearbeitung:

Als beste Methode der Oberflächenbearbeitung hat sich das Polieren der Zementoberfläche mit einem feinsten Soft-Acrylsteinchen herausgestellt. Das Fixieren eines Celluloidstreifens ohne Fett ergibt schon wesentlich schlechtere Werte, während der einvaselinierte Celluloidstreifen für die Oberflächenbehandlung abzulehnen ist. Wir erhalten hierbei Oberflächen, deren Rauhtiefen 7 mal größer sind als bei der Bearbeitung mit einem Soft-Acrylsteinchen.

Kammern:

Die Modifikation der Lagerung der Prüfkörper hat einen Einfluß auf die bearbeitete Zementoberfläche. Es kann festgestellt werden, daß sich die Lagerung unter Wasser auf die Oberfläche weitaus ungünstiger auswirkt als die Aufbewahrung der Versuchskörper in einer feuchten Kammer bei 37°C.

Zeiten:

Die Zeitdauer der Lagerung hat auf die Zementoberfläche keinen Einfluß. In den von mir für die Oberflächenprüfung gewählten Zeiträumen ließ sich ein Unterschied der Oberflächengüte nicht nachweisen.

Zemente:

Die für die Versuche verwendeten Zemente weisen einen Materialunterschied auf. Diese Tatsache ist bekannt und sie erklärt sich aus den verschiedenartigen Zusammensetzungen speziell der Pulveranteile der Zemente.

Zement-Oberflächenbehandlung:

Diese Wechselwirkung ist für die Aussage über die adaequate Oberflächenbehandlung der einzelnen Zemente von größter Wichtigkeit. Es konnte volle statistische Sicherung erreicht werden. Die Oberflächenbehandlung mittels eines mit

Vaseline beschickten Celluloidstreifens ist für die Zemente abzulehnen. Bei allen vier Zementen ergab diese Methode die weitaus schlechtesten Ergebnisse. Besonders auffällig war dies beim Phosphatzement Harvard und dem Silikat Achatit.

Für den Silikatzement Super-Syntrex hat sich der Celluloidstreifen ohne Fett als vorteilhafteste Behandlungsart erwiesen. Wichtig ist jedoch, daß dieser Streifen während der Phase der primären Erhärtung unter Druck fixiert bleibt.

Für den Silikatzement Achatit, den Phosphatzement Harvard und den Steinzement Cupro-dur stellte sich das nasse Polieren nach der primären Erhärtung mit einem feinsten Soft-Acrylsteinchen als die beste Bearbeitungsmehtode der Oberfläche heraus.

Die beste Oberflächenbeschaffenheit aller geprüften Zemente erreichte der Steinzement Cupro-dur.

Ein Vergleich der beiden untersuchten Silikatzemente fällt zugunsten des Achatit-biochromatic aus. Nach Politur der Achatitoberfläche war deren Rauhtiefe um die Hälfte geringer als die der mit einem Celluloidstreifen ohne Fett bearbeiteten Super-Syntrex-Prüfkörper.

Die Ergebnisse der übrigen Wechselwirkungen haben nur statistische Bedeutung; auf ihre Auswertung kann im weiteren Verlauf dieser Arbeit verzichtet werden.

Replica-Abdrücke

Für die Photographie wurden von den 192 Replica-Abdrücken 9 ausgewählt. Der Phosphatzement Harvard und der Steinzement Cupro-dur blieben dabei unberücksichtigt. Bei der Gegenüberstellung der Silikatzemente Super-Syntrex und Achatit ist von besonderem Interesse, in welchem Maße die

Reliefabdrücke Bestätigung oder Abweichung von der mathematisch-statistischen Auswertung bezüglich der Modifikation der Verarbeitung, der Oberflächenbearbeitung und der Untersuchungzeit ergeben.

<u>Super-Syntrex</u> unter Wasser > ohne Fett nach 24 Std.	↔	<u>Achatit</u> unter Wasser > ohne Fett nach 24 Std.
<u>Super-Syntrex</u> bei 37°C > mit Fett nach 24 Std.	↔	<u>Achatit</u> bei 37°C } a. mit Fett nach 24 Std. } b. poliert
<u>Super-Syntrex</u> bei 37°C > a. ohne Fett nach 4 Wo. > b. mit Fett	↔	<u>Achatit</u> unter Wasser } a. mit Fett nach 4 Wo. } b. poliert

Alle Photographien wurden in der Vergrößerung 7 x 10 hergestellt. (Maßstab 40 : 1)



Abb. 1 Super-Syntrex, Lagerung 24 Std. unter Wasser, bearbeitet mit Celluloidstreifen ohne Fett.



Abb. 2 Achatit, Lagerung 24 Std. unter Wasser, bearbeitet mit Celluloidstreifen ohne Fett

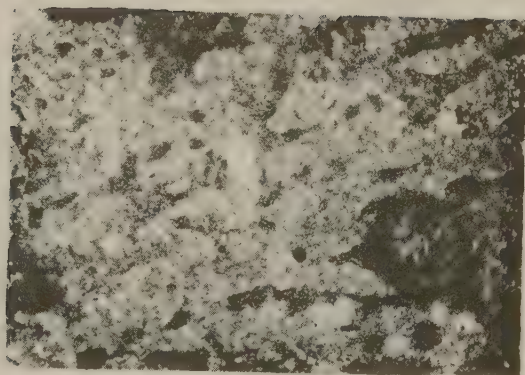


Abb. 3 Super-Syntrex, Lagerung 24 Std. bei 37°,
Celluloid mit Fett

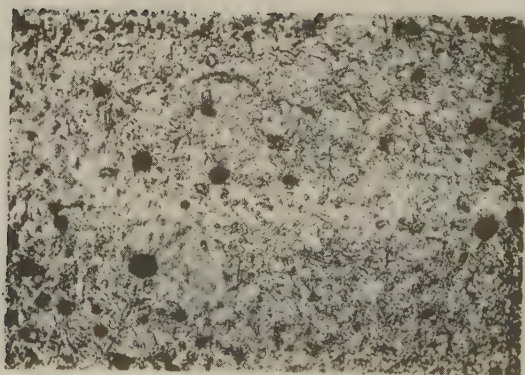


Abb. 4 Super-Syntrex, Lagerung 4 Wochen in feuchter
Kammer von 37°, bearbeitet mit Celluloid-
streifen ohne Fett.



Abb. 5 Super-Syntrex, Lagerung 4 Wochen in feuchter Kammer von 37°, bearbeitet mit Celluloidstreifen mit Fett

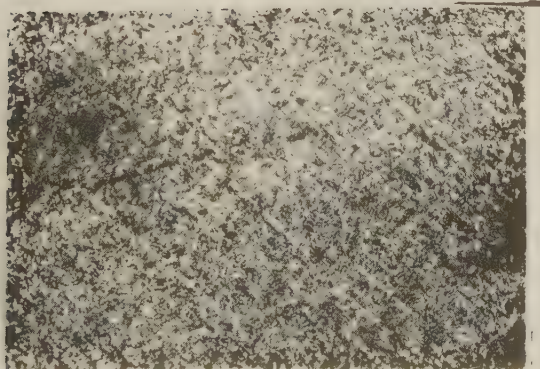


Abb. 6 Achatit, Lagerung 24 Std. in feuchter Kammer von 37°, poliert mit Softsteinchen



Abb. 7 Achatit, Lagerung 24 Std. in feuchter Kammer von 37°, bearbeitet mit Celluloidstreifen mit Fett

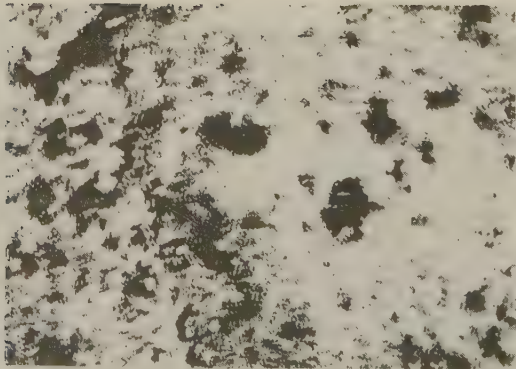


Abb. 8 Achatit, Lagerung 4 Wochen unter Wasser, bearbeitet mit Celluloidstreifen mit Fett

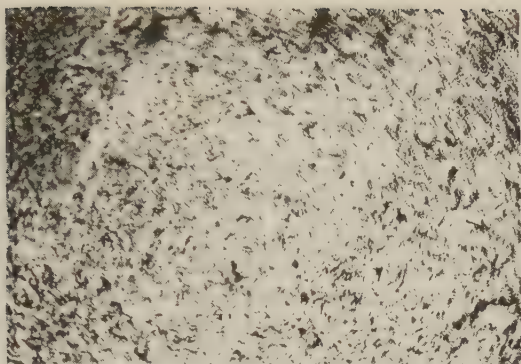


Abb. 9 Achatit, Lagerung 4 Wochen unter Wasser,
poliert mit Softsteinchen

III. Kritische Betrachtungen und Schlußfolgerungen für die Praxis

Es wurde in dieser Arbeit der Versuch unternommen, die zu Erreichung einer maximalen Oberflächengüte adaequate Methode der Bearbeitung bei den in der Praxis gebräuchlichsten Zementen zu finden. Die Anwendung des Profilographen hat es dabei gestattet, durch exakte und objektive Zahlenwerte klare Aussagen über die Rauhtiefen der behandelten Zementoberflächen zu machen. Die gewonnenen Replica-Abdrücke sollen hierzu eine Ergänzung sein, mehr nicht, denn es ist ja bekannt, daß es bei der üblichen Betrachtung im Auflichtmikroskop immer wieder zu Fehldeutungen des Reliefbildes gekommen ist.

Die Forderung an eine einwandfreie Gestaltung der Oberfläche ergibt sich aus hygienischen, aesthetischen und kariesprophylaktischen Gründen. Daß Silikatzementfüllungen aber durch die Mundflüssigkeit mehr oder weniger schnell gelöst werden, ist eine aus der klinischen Beobachtung allgemein bekannte Tatsache.

Denn neben dem nicht unwesentlichen persönlichen Moment, schon beim Anmischungsvorgang, bleiben oft die Forderungen, die an die Verarbeitungsweise des Materials gestellt sind, unbeachtet. Letztlich aber macht die poröse Beschaffenheit aller Zemente jeden Versuch um eine einwandfreie Oberflächengestaltung zunichte.

Das Bemühen muß also dahingehen, unter den gegebenen Umständen bei exakter Einhaltung der Verarbeitungsvorschriften die bestmögliche Oberflächengüte der gelegten Füllung zu erreichen.

Bei Betrachtung der Silikatekonnten meine Untersuchungen die Behauptungen einiger Autoren, daß sich eine nachträgliche.

Politur der fasernierten Silikate ungünstig auswirke, nicht bestätigen. Ich konnte im Gegenteil beobachten, daß die mit einem feinen Soft-Acrylsteinchen bearbeitete Achattoberfläche die besten Ergebnisse brachte. Offensichtlich werden bei der Politur - die immer erst nach der primären Erhärtungsphase und naß erfolgen sollte, da Hitzeinwirkung zu Spannungsrissen führt - die aus der Füllung herausragenden Faserteile ohne Beschädigung der Oberfläche beseitigt.

Von großer Bedeutung ist dabei, daß sich dieser Vorgang auf das Polieren beschränkt; wenn die Oberfläche beschliffen werden muß, wie es bei der Entfernung von überschüssigem Material der Fall ist, so findet eine Zertrümmerung der Struktur statt und die herausgebrochenen Zementpartikel lassen je nach Feinheit des Bearbeitungsinstrumentes unterschiedliche Rauigkeit zurück. Geht also mehr als 0,1 - 0,3 mm verlustig, so erhält man eine porenreiche Oberfläche, die den Anforderungen nicht mehr entspricht.

Die instrumentelle Oberflächenbearbeitung wird gemeinhin unterteilt in den Schleifvorgang und den Poliervorgang. Der Schleifvorgang ist im allgemeinen ein Schaben, bewirkt durch die scharfen Spitzen und Kanten des gekörnten Schleifinstrumentes. Dabei entstehen in dem Werkstoff Rillen, deren Form und Größe der Korngröße entsprechen. Zweck des Schleifens ist in der Regel die Entfernung überschüssiger Teile, dies zumeist zur Erzielung der gewünschten Form.

Sinn des Polierens ist bekanntlich die Erzeugung einer verdichteten, glatten Oberfläche aus hygienischen, ästhetischen und prophylaktischen Gründen. Der Substanzverlust bei zahnärztlichen Zementen sollte dabei 0,1 mm nicht überschreiten.

Zur Erlangung einer optimalen Oberfläche ergeben sich für Achatit-biochromatic nach meinen Untersuchungen folgende Forderungen:

- 1) Anmischen nach Vorschrift auf einer Thermoplatte von 10 - 12° Innentemperatur in Standardkonsistenz.
- 2) Einbringen des Materials in die Kavität unter Druck und Formgebung der Füllung mittels eines unbefetteten Celluloidstreifens, der 5 Minuten fixiert bleiben sollte.
- 3) Vermeidung von jeglichem Überschuß und von Feuchtigkeit Zutritt (Cofferdamm.).
- 4) Nach ca. 10 - 15 Minuten nasse Politur mit einem feinsten Soft-Acrylsteinchen. Finierer, Arkansas- oder ähnliche Steine sind hierfür untauglich.

Voraussetzung zur Erzielung einer günstigen Oberflächenbeschaffenheit beim Silikatzement Super-Syntrex sind nicht mit Vaseline beschickte Celluloidstrips, welche die Formgebung ermöglichen und durch welche das Material bis zur Beendigung der primären Erhärtung unter Druck gehalten werden kann. Für eine porenarme Rindenschicht ist zudem der möglichste Verzicht auf eine Politur unumgänglich. Angeraten sei auch bei diesem Silikat das Anmischen auf einer Thermoplatte von 10 - 12° in Standardkonsistenz und die Vermeidung selbst geringsten Feuchtigkeit Zutrittes während der ersten 10 - 15 Minuten (Cofferdamm!).

Dennoch liegen die Rauhtiefenwerte der so behandelten Super-Syntrex-Oberfläche doppelt so hoch wie die der polierten Achatitfüllung.

Von der Anwendung mit Vaseline beschickter Celluloidstreifen ist bei beiden Silikaten abzuraten. Sie hinterlassen auf der Oberfläche Rauheiten von durchschnittlich 20 - 30 µm.

Da die Steinzemente zur Herstellung von Dauerfüllungen im Seitenzahnbereich Verwendung finden und die Phosphatzemente bei entsprechender Indikation als Material für langfristige Provisorien zur Anwendung kommen, erhebt sich auch für diese Stoffe die Frage, ob es zweckmäßig und überhaupt möglich ist, ihre Oberfläche zu polieren.

Der Steinzement Cupro-dur erreichte die beste Oberflächenqualität von allen geprüften Zementen. Es ist zu empfehlen, eine Füllung aus diesem Material unter den Bedingungen zu legen, wie sie für die Silikate gelten. Eine anschließende Politur mit einem feinsten Softsteinchen ergibt eine wesentliche Verbesserung der Oberflächenstruktur.

Angeraten sei auch das vorsichtige Polieren einer Harvard-Füllung, wenn sie als langfristiges Provisorium dienen soll. Auch hier verringert sich die Rauheit nach Politur auf ein Drittel gegenüber der mit unbefetteten Celluloidstreifen behandelten Oberfläche.

IV. Zusammenfassung

In Laboratoriumsversuchen wurden 192 Probekörper mit den Maßen 8 mm Länge und 4 x 4 mm quadratischem Querschnitt in einer Präzisionsform aus Stahl hergestellt; 96 dienten für die Untersuchung nach 24 Stunden und 96 für die Prüfung nach 4 Wochen.

Für jeweils die Hälfte der Zementkörper (48) wurde einmal als Modifikation der Verarbeitung die feuchte Kammer bei 37°C, zum anderen die Lagerung unter Wasser gewählt. Davon entfielen auf jeden der 4 Zemente jeweils 4 Prüfkörper für die 3 angeführten Oberflächenbearbeitungsmethoden.

Jeder der 192 Prüfkörper wurde mit dem Profilographen 4 mal abgetastet, das ergibt 768 Messungen.

Mit Hilfe der Replica-Methode wurde von jedem Probekörper ein Abdruck gewonnen.

Die Untersuchungen haben folgendes Resultat ergeben:

Zur Erlangung einer optimalen Oberfläche bei den Silikaten ist das Legen einer Füllung aus diesem Material unter Druck mittels eines nicht einvaselinierten Celluloidstreifens Voraussetzung. Bei Achatit-biochromatic, einem Silikat mit Glasfaserzusatz, wirkte sich eine Politur mit einem Soft-Acrylsteinchen nach der primären Erhärtung günstig auf die Oberflächengüte aus. Ihre Rauhtiefen liegen um die Hälfte unter denen einer lege artis behandelten Super-Syntrex-Oberfläche. Auch die Oberflächenqualität des Steinzementes Cupro-dur und des Zinkphosphatzementes Harvard können durch nachträgliche Politur mit einem Softsteinchen wesentlich verbessert werden. Der einvaselinierte Celluloidstreifen ist für die Oberflächebehandlung der Zemente abzulehnen.

Es kann festgestellt werden, daß eine ideale Oberfläche durch die Porösität aller Zemente nicht zu erreichen ist. Das Ziel muß es daher sein, durch exakte Einhaltung aller Verarbeitungsvorschriften die bestmögliche Oberflächen-güte anzustreben.

Die mit Hilfe der Replika-Methode gewonnenen Fotografien bestätigen in eindrucksvoller Weise das Ergebnis der mathematisch-statistischen Auswertung.

- 10.) Kluczka, J. Alte und neue Füllungsmaterialien,
ihre Indikation und ihre Verwendung
Zahnärztl. Rundschau 1953, Heft 11,
Seite 281
- 11.) Kantorowicz, A. Konservierende Zahnheilkunde,
Verlag J.F. Bergmann, München 1925
- 12.) Pantke, H. Die Replika-Technik
Stoma 1956, Seite 86
- 13.) Riedel, H. Zum gegenwärtigen Stand in der Beur-
teilung von Füllungsmaterialien
Dtsch. Zahnärzteblatt 1964, Heft 8
- 14.) Weikart, P. Zur Prüfung von Zahnzementen auf
ihre Festigkeit
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 1951, 6,
Heft 1, Seite 30
- 15.) Weikart, P. Einiges über Oberflächen und Oberflä-
chengestaltung, insbesondere der Me-
talle
Zahnärztl. Welt, 1954, Heft 5,
Seite 114
- 16.) Pietsch, E. Untersuchungen über die Löslichkeit
von Zahnzementen
Med. dent. Inaugural-Diss. Mainz 1955
- 17.) Pfeiffer, L. Vergleichende Untersuchungen über
die Löslichkeit zahnärztlicher
Füllungsmaterialien
Med. dent. Inaugural-Diss. Mainz 1957
- 18.) Fritz, W. Experimentelle physikalische Unter-
suchung über Silikatzemente mit und
ohne Zusatz von Gitterwerkstoffen
Med. dent. Inaugural-Diss. München 1965
- 19.) Institut Dr. Förster,
Reutlingen Bedienungsanleitung zum Profilo-
graphen Typ 5.815, Februar 1966

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Dr. W. Ketterl, möchte ich Dank sagen für die Überlassung des Themas sowie für die Anregungen und die Unterstützung, die er mir bei der Durchführung dieser Arbeit gewährt hat.

Herrn Dr. Fassl vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Lebenslauf

Am 8. Juli 1938 wurde ich, Bernd Stern, als zweiter Sohn des Obergerichtsvollziehers Bernhard Stern und seiner Ehefrau Auguste Stern, geb. Smolnik, in Herne in Westfalen geboren. Ich bin deutscher Staatsbürger und evangelischen Bekenntnisses.

Durch Evakuierung nach Königsberg und Schneidemühl sowie durch den erst 1947 wieder aufgenommenen Schulbetrieb in meiner Heimatstadt bedingt, wurde ich im Herbst 1947 in die evangelische Volksschule in Herne-Börnig eingeschult. Nach 3 Grundschuljahren wechselte ich im Frühjahr 1950 auf das Pestalozzi-Gymnasium in Herne, das ich am 11.5.59 mit dem Reifezeugnis verlassen konnte.

Nach vorübergehender Tätigkeit in einem zahntechnischen Laboratorium habe ich nach fünfsemestrigem vorklinischem Studium an der Joh. Gutenberg Universität vor dem Prüfungsausschuß in Mainz die zahnärztliche Vorprüfung im März 1965 mit der Gesamtnote "gut" bestanden. Nach weiteren 5 Semestern klinischen Studiums wurde ich zum Zahnärztlichen Staatsexamen mit Prüfungsbeginn vom 1.8.1967 zugelassen.

